

Uso de sensor óptico ativo para caracterização do perfil de NDVI em dosséis de trigo submetidos a diferentes estratégias de manejo

Jão Leonardo Fernandes Pires*¹, Geomar Mateus Corassa*²,
Mércio Luiz Strieder¹, Genei Antonio Dalmago¹, Gilberto Rocca da Cunha¹,
Anderson Santi¹, José Pereira da Silva Júnior¹, Antônio Luis Santi*³,
Henrique Pereira dos Santos¹, Aldemir Pasinato*⁴, Camila Remor⁵

¹Pesquisador, Embrapa Trigo, Rodovia BR 285 km 294, Passo Fundo, RS

²Eng^o Agr^o, Mestrando do PPGAAA, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

³Professor, UFSM, Campus de Frederico Westphalen

⁴Analista da Embrapa Trigo

⁵Acadêmica de Agronomia da Universidade de Passo Fundo, Bolsista CNPq/IC

*E-mails: joao.pires@embrapa.br, geomarmateus@hotmail.com, santi_pratica@yahoo.com.br, aldemir.pasinato@embrapa.br

Resumo: Novas tecnologias associadas a sensores remotos têm sido usadas na cultura de trigo. Destaca-se a possibilidade de uso do monitoramento do cultivo em tempo real com indicadores que permitem estimar o vigor, potencial produtivo ou estado nutricional das plantas com base na refletância do dossel. O uso de sensores ópticos ativos na pesquisa de trigo pode contribuir na caracterização de resposta de genótipos à práticas culturais, com posterior uso como suporte à tomada de decisão de manejo. Nesse sentido, em Passo Fundo, RS, na safra de inverno 2012, utilizou-se o sensor óptico ativo GreenSeeker[®] para avaliar linhagens de trigo passíveis de lançamento comercial pela Embrapa. Caracterizou-se os padrões de NDVI dos genótipos em ensaios de densidade de semeadura, doses de nitrogênio, estratégias de aplicação de nitrogênio em cobertura e aplicação de redutor de crescimento. O sensor óptico ativo GreenSeeker[®] é uma ferramenta importante para discriminação de diferenças de refletância entre dosséis de trigo. Tanto na comparação de genótipos quanto de práticas de manejo empregadas na cultura do trigo, o sensor óptico ativo, permite identificar precocemente diferenças de refletância entre dosséis, que estão associadas com práticas de manejo de cultivo. Ainda, caracteriza-se como uma avaliação não destrutiva e de fácil execução.

Palavras-chave: GreenSeeker[®], NDVI, Triticum aestivum L.

Use of active optical sensor for NDVI characterization profiles in wheat canopies under different management strategies

Abstract: Remote Sensing Technology (RST) has been widely used for wheat crops. Among important functions, RST has the possibility of real-time monitoring cultivation using indicators to estimate general traits as vigor, yield potential and nutritional plant status based on the canopy reflectance. The use of active optical sensor on wheat research can largely contribute on the characterization response of genotypes to crop management practices, with following use as decision support system. During 2012 winter growing season crop, in Passo Fundo, RS state, Brazil, active optical sensor GreenSeeker[®] was used to evaluate several wheat lines (Embrapa future new varieties). NDVI genotypes patterns were characterized in trials of sowing density, nitrogen rates, top-dressing nitrogen dose strategies and growth regulator use. Regardless of the applied crop management strategy, the results obtained in this study showed that the GreenSeeker[®] sensor is an important tool for discrimination reflectance differences among wheat canopies. The study also showed that GreenSeeker[®] system was able to



early identify this kind of differences independently of the applied wheat crop management strategy. Furthermore, the use of GreenSeeker® in wheat crop canopy evaluation is a nondestructive method and has easy operational interface.

Keywords: GreenSeeker®, NDVI, Triticum aestivum L.

1. Introdução

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1973) e tem sido utilizado para mensurar a coloração verde e o tamanho do aparato fotossintético da cultura (PIETRAGALLA; VEJA, 2012). Os valores de NDVI variam em uma escala de -1 a 1, sendo que, quanto maior o seu valor, maiores são as diferenças entre a reflectância do infravermelho próximo com o vermelho, o que indica maior quantidade de clorofila e vigor de desenvolvimento e, conseqüentemente, maior o potencial produtivo das plantas (RISSINI, 2011).

Sensores portáteis de NDVI, como o GreenSeeker® permitem rápida mensuração do NDVI in situ, com resolução para caracterizar o dossel quanto ao Índice de Área Foliar (IAF), Índice de Área Verde (IAV), biomassa e conteúdo de nutrientes (ex. nitrogênio). As avaliações podem ser utilizadas ainda, para estimar o rendimento de grãos, o acúmulo de biomassa, a taxa de crescimento, a cobertura do solo, o vigor inicial, o padrão de senescência e a detecção de estresses bióticos e abióticos. O NDVI pode ainda, servir como indicador para a tomada de decisão em Agricultura de Precisão, como a detecção e o controle localizado de plantas daninhas e a definição da dose e do momento de aplicação de nitrogênio (PIETRAGALLA; VEJA, 2012).

A maioria dos sensores portáteis de NDVI são ativos (produzem sua própria fonte de ondas eletromagnéticas) permitindo medições em diferentes condições de densidade de fluxo de radiação solar e a comparação dos dados coletados em diferentes datas e horas do dia (PIETRAGALLA; VEJA, 2012). É importante, no entanto, para a mensuração do NDVI que a superfície das plantas esteja livre de umidade, ou seja, sem a presença de orvalho, irrigação ou chuva (PIETRAGALLA; VEJA, 2012).

Segundo Pietragalla e Veja (2012), algumas possibilidades de uso de sensores de NDVI para

caracterização fenotípica em trigo podem ser citadas:

- Vigor inicial: medições aos 5, 10 e 15 dias após a emergência podem ser utilizadas para diferenciar genótipos. Neste caso, recomenda-se utilizar sementes da mesma origem, pois sementes de diferentes locais podem apresentar diferenças de vigor, o que pode confundir a avaliação de genótipos.
- Detecção de estresses bióticos e abióticos: recomenda-se fazer medições de NDVI antes, durante e depois do evento/período de estresse. As diferenças de NDVI encontradas vão permitir diferenciar genótipos resistentes e sensíveis a determinado estresse.
- Acúmulo de biomassa e taxa de crescimento da cultura: as medições devem ser periódicas da emergência até o final da antese para estimar o acúmulo de biomassa e permitir o cálculo da taxa de crescimento.
- Senescência, “stay-green” e duração do enchimento de grãos: recomenda-se fazer medições semanais da antese até a maturação fisiológica. Os fatores coloração verde e duração da manutenção de área verde do dossel estão associados a genótipos com rendimentos de grãos elevados.

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi demonstrar a capacidade e utilidade do sensor óptico ativo GreenSeeker® como uma ferramenta na identificação de padrões de NDVI associados a genótipos e práticas de manejo na cultura de trigo.

2. Material e Métodos

A Embrapa Trigo realiza, anualmente, uma série de ensaios para caracterização e ajuste fitotécnico de cultivares de trigo a fim de indicar ao setor produtivo o conjunto manejo-cultivar mais apropriado para a obtenção de retorno econômico com a cultura de trigo. Nas safras

2011 e 2012 utilizou-se, nestes “campos de prova” o sensor óptico ativo GreenSeeker® (NTECH INDUSTRIES, 2008) para realizar leituras de NDVI de diversos ensaios, com várias estratégias de manejo utilizadas em trigo. Os ensaios utilizados foram:

- 1 - Ensaio de densidade de semeadura x dose de nitrogênio em cobertura x genótipo: ensaio que utilizou como tratamentos quatro densidades de semeadura (200, 300, 400 e 500 sementes aptas m^{-2}); quatro doses de nitrogênio em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg de N ha^{-1}) e cinco genótipos de trigo (BRS Parrudo, PF 060451, PF 070226, PF 070759 e PF 080310). Neste ensaio avaliaram-se diferenças de vigor entre genótipos, diferenças entre genótipos no perfil de NDVI durante o ciclo do trigo e efeitos da densidade de semeadura e dose de nitrogênio na variação do NDVI.
- 2 - Ensaio de estratégias de aplicação de nitrogênio em cobertura: buscou-se testar três estratégias de aplicação de N para trigo. A primeira representou a tradicionalmente realizada pelos produtores do Planalto Médio do RS, com aplicação de 150 kg de ureia ha^{-1} no afilhamento do trigo; a segunda representou o produtor que tem o objetivo de contemplar a aplicação tardia (com foco em suprimento de N para melhorar/garantir a qualidade tecnológica do genótipo), mas que não quer investir em maior quantidade de ureia e aplica 75 kg de ureia ha^{-1} no afilhamento e mais 75 kg de ureia ha^{-1} no espigamento; a terceira representa o produtor que busca contemplar a aplicação tardia, mas que vai investir mais em ureia, ou seja, aplica

150 kg de ureia ha^{-1} no afilhamento e mais 50 kg de ureia ha^{-1} no espigamento.

- 3 - Aplicação de redutor de crescimento no afilhamento: ensaio que utiliza três tratamentos para avaliação da aplicação de redutor de crescimento (Trinexapaque-Etílico) em trigo. Os tratamentos consistem em: sem redutor; redutor aplicado no afilhamento (com foco no aumento do rendimento de grãos) e redutor aplicado com o primeiro nó visível e segundo nó perceptível (foco na redução de acamamento).

A metodologia empregada para a quantificação do NDVI segue a descrição do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo - CIMMYT (PIETRAGALLA; VEJA, 2012). As leituras foram realizadas por meio de deslocamento sobre as linhas centrais de cada unidade experimental, posicionando-se o sensor a uma altura de 0,8 a 1,0 m acima do dossel (Figura 1). Em cada parcela foram geradas entre 25 e 30 leituras, as quais compuseram a média da parcela. As leituras foram realizadas durante todo o ciclo da cultura, identificando-se em cada leitura o estágio de desenvolvimento e o número de dias após a emergência (DAE).

3. Resultados e Discussão

O uso do sensor óptico ativo no “campo de provas” da Embrapa Trigo em 2012 permitiu demonstrar a capacidade da ferramenta no auxílio à fenotipagem de trigo. Em estudos que visam definir o melhor manejo para cada genótipo em fase de lançamento comercial, foi possível

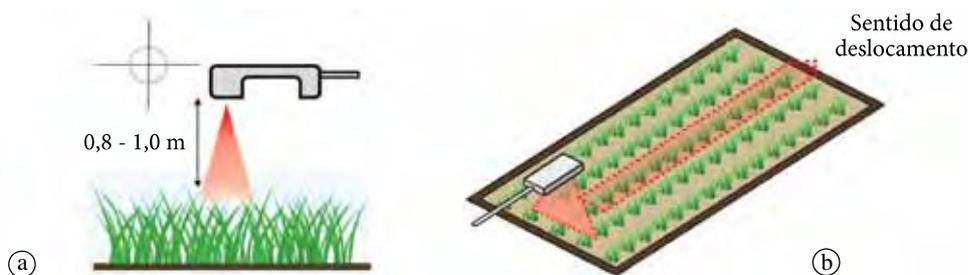


Figura 1. Metodologia utilizada para leitura de NDVI utilizando o sensor ativo GreenSeeker®, evidenciando o posicionamento do sensor em relação ao dossel (A) e o local de deslocamento sobre a unidade experimental (B). Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2013.

verificar, por meio do perfil de NDVI, a resposta das linhagens em diferentes situações de manejo. Estes resultados ajudam a explicar as respostas verificadas em termos de rendimento de grãos.

A seguir exemplifica-se em cada ensaio realizado os dados obtidos pelo sensor GreenSeeker® bem com, as possíveis explicações para os resultados, fazendo-se a ligação com os dados de rendimento de grãos obtidos em cada situação.

A avaliação de vigor inicial, por meio do NDVI, permitiu identificar genótipos com resposta diferenciada e alterações em função da densidade de semeadura. Na Figura 2, verifica-se que na densidade de 300 sementes aptas m^{-2} há diferença entre os genótipos aos 5, 10 e 15 dias após a emergência (DAE), com o genótipo PF 070759 destacando-se em relação aos demais (Tukey 5%), para o vigor inicial embora não diferindo de PF 080310 aos 5 e 15 DAE. Quando se quantificou o NDVI em densidade de semeadura de 500 sementes aptas m^{-2} foi possível verificar maiores valores de NDVI e maior separação no padrão de vigor inicial entre as cultivares/linhagens de trigo avaliadas, principalmente ao 15 DAE.

Os padrões de NDVI ao longo do ciclo permitiram diferenciar os genótipos estudados. Conforme pode ser observado na Figura 3 o genótipo BRS 327 apresentou NDVI superior aos demais genótipos até o espigamento e a partir desse estágio, passou a apresentar valores abaixo dos genótipos BRS Parrudo e PF 060451. A variação da resposta do BRS 331 após o

espigamento também indica queda drástica nos valores de NDVI, passando a ser o valor mais baixo entre os genótipos avaliados. Merece destaque também o ciclo diferenciado dos genótipos, sendo BRS 331 o mais precoce e PF 060451 o mais tardio. Este fato pode explicar, em parte, os valores de NDVI mais baixos e mais altos de BRS 331 e PF 060451, respectivamente, em relação aos demais no final do ciclo. Como resultado do ensaio o maior rendimento de grãos obtido foi com o genótipo PF 060451 com 3.815 kg ha^{-1} seguido de BRS 327 que obteve 3.479 kg ha^{-1} , BRS Parrudo que alcançou 3.348 kg ha^{-1} e BRS 331 que obteve o menor rendimento, com 3.086 kg ha^{-1} .

Na comparação de doses de nitrogênio (Figura 4) o NDVI permitiu acompanhar o efeito do momento da aplicação (realizada na sexta folha) e da dose utilizada em cobertura. A resposta do NDVI é similar até a aplicação de N quando passa a diferenciar-se de acordo com a dose de N, sendo na dose de $0 \text{ kg de N ha}^{-1}$ os valores mais baixos de NDVI, $40 \text{ kg de N ha}^{-1}$, intermediários e 80 e $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$ os valores mais altos e bastante similares até o enchimento de grãos onde a dose maior aparentemente mantém o NDVI com valores mais elevados por mais tempo. Tal fato, torna possível verificar na Figura 4, a característica de “stay green” presente em BRS Parrudo, permitindo que o genótipo mantenha a coloração verde do dossel (representada pelos valores de NDVI) no final do enchimento de grãos

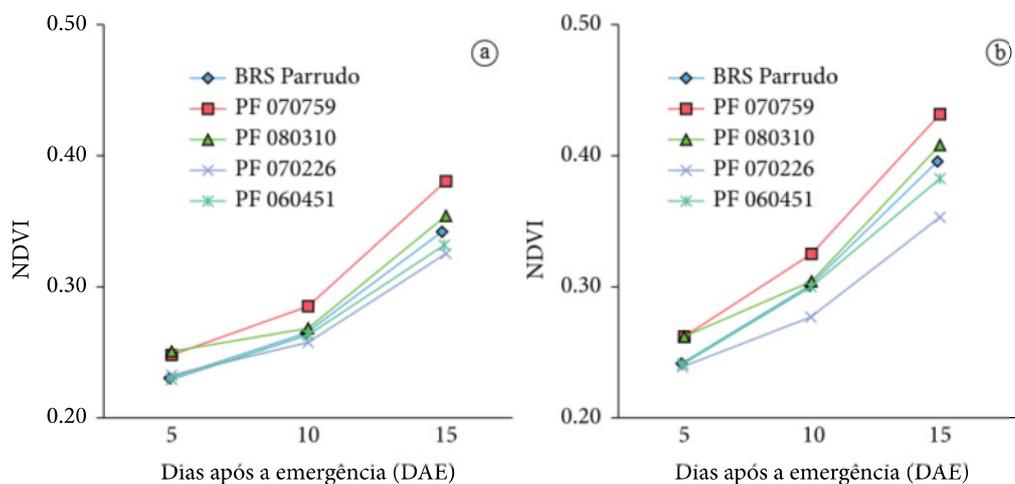


Figura 2. Vigor inicial de diferentes genótipos de trigo em duas densidades de semeadura de: (a) 300 sementes aptas m^{-2} e (b) 500 sementes aptas m^{-2} . Média de diferentes doses de nitrogênio em cobertura. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2013.

de forma diferenciada, em relação aos demais genótipos, como por exemplo, o PF 070759.

No ensaio sobre estratégias de aplicação de nitrogênio em cobertura, as leituras de NDVI permitiram visualizar a resposta dos tratamentos ao longo do ciclo da cultura. Quando se aplicou toda dose de nitrogênio no afilhamento, os valores de NDVI foram os mais elevados, permanecendo assim até o estágio de grãos em massa mole. Quando se aplicou suplemento de N (50 kg de ureia ha⁻¹) no espigamento, os valores de NDVI permaneceram elevados ao longo de todo o ciclo da cultura. Já, quando se dividiu a dose (metade no afilhamento e metade no espigamento), os

valores de NDVI ficaram abaixo dos demais tratamentos, até o estágio de grãos em massa mole quando superaram o tratamento de dose total no afilhamento e chegaram ao final do ciclo bastante próximo ao tratamento com suplemento de N no espigamento.

Os resultados obtidos no ensaio mostraram que o maior rendimento de grãos foi obtido no tratamento com suplementação de ureia no espigamento (150 + 50) que obteve 4.405 kg ha⁻¹ (Tukey 5%), não diferindo do tratamento que recebeu toda a dose de N no afilhamento (150), o qual atingiu 4.008 kg ha⁻¹, mas sendo superior ao tratamento que dividiu a dose entre afilhamento

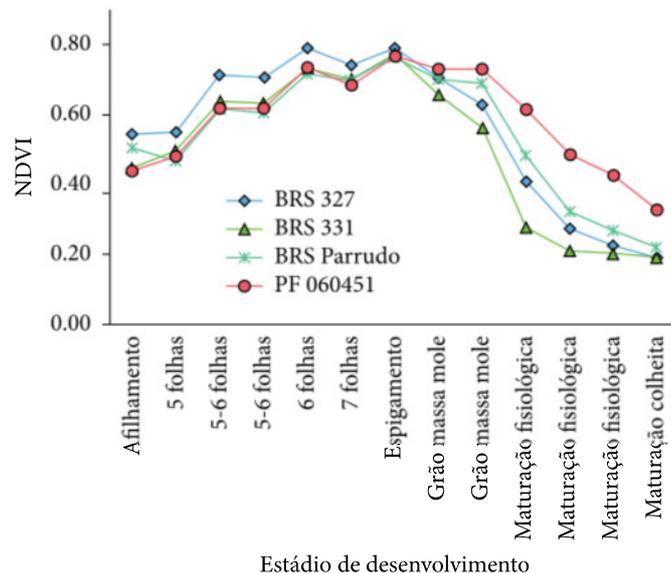


Figura 3. Uso de NDVI para diferenciação da resposta de genótipos de trigo com mesma densidade de semeadura e dose de nitrogênio. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2013.

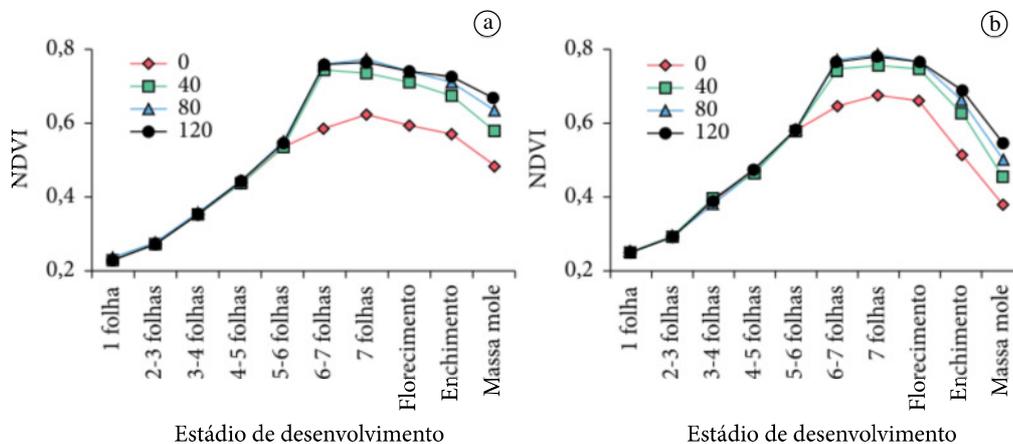


Figura 4. Perfil temporal de NDVI dos genótipos de trigo BRS Parrudo (a) e PF 070759 (b) com diferentes doses de nitrogênio aplicadas em cobertura. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2013.

e espigamento (75 + 75) que obteve 3.691 kg ha⁻¹. Avaliando-se os dados de rendimento de grãos em conjunto com resultados de NDVI, depreende-se que a divisão da dose de nitrogênio entre afilhamento e espigamento pode ter feito com que a quantidade de nitrogênio fornecida antes do espigamento (demonstrada pelos valores mais baixos de NDVI) tenha comprometido a formação do potencial de rendimento de grãos da cultura, representado especialmente pelo componente do rendimento número de grãos m⁻², que é, em grande parte, definido antes do espigamento. Apesar da aplicação de outra metade da dose no espigamento, houve pouca capacidade de compensação, pois o componente que ainda resta a ser definido deste ponto em diante é o peso do grão (expresso pelo peso de 1.000 grãos) que apresenta limitações em termos de capacidade de resposta. Já o tratamento que obteve o melhor resultado, além de ter dose suficiente de nitrogênio para potencializar o número de grãos m⁻², com o suplemento de N no espigamento, também potencializou o peso de 1.000 grãos. Apesar desses resultados, é importante a avaliação da qualidade tecnológica e, principalmente, da avaliação econômica, para a verificação de qual tratamento é o mais interessante do ponto de vista prático.

A Figura 6 apresenta o perfil de NDVI de uma linhagem de trigo submetida a diferentes

densidades de semeadura em uma situação de menor e de maior aplicação de nitrogênio. Observou-se que o sensor óptico ativo foi capaz de detectar as diferenças das populações de plantas (de forma coerente com o incremento no número de plantas), que foram mais pronunciadas nos estádios iniciais de desenvolvimento onde o dossel está expandindo a área foliar e cobrindo o solo de forma diferenciada. Já, próximo ao espigamento/floração, a resposta das diferentes populações foi bastante semelhante. Outra constatação possível foi o efeito do nitrogênio, onde os valores de NDVI máximos foram menores com menor suprimento de nitrogênio em relação à situação de maior suprimento de nitrogênio. Os resultados obtidos mostraram que a dose de 80 kg de N ha⁻¹ apresentou rendimento de grão superior (3.643 kg ha⁻¹) a dose de 0 kg de N ha⁻¹ (2.453 kg ha⁻¹).

As diferenças observadas no NDVI entre densidades de plantas até o estágio de 6-7 folhas pode ter contribuído para os resultados de rendimento de grãos observados. Na menor dose de N, houve melhor resultado para 500 sementes aptas m⁻² (2.685 kg ha⁻¹), com 300 e 400 sementes aptas m⁻² obteve-se rendimento de grãos bastante similar (2.401 kg ha⁻¹ e 2.433 kg ha⁻¹, respectivamente) e na densidade de 200 sementes aptas m⁻², obteve-se o menor

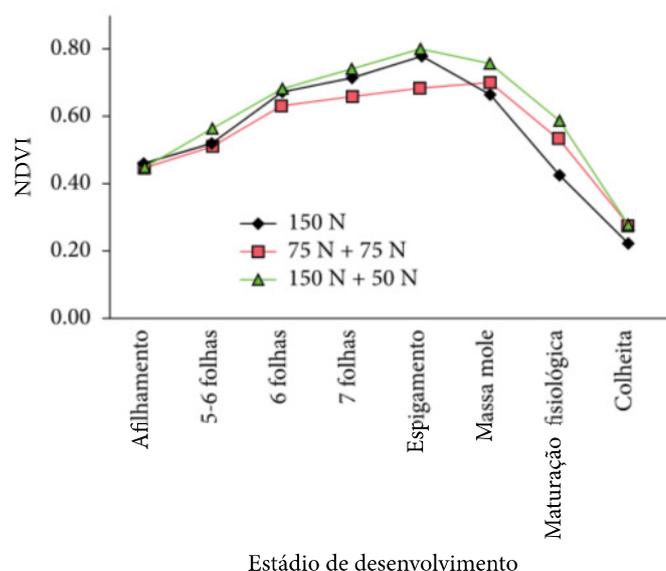


Figura 5. Perfil de NDVI da cultivar de trigo BRS 374 com diferentes estratégias de aplicação de nitrogênio em cobertura (150 kg de ureia ha⁻¹ no afilhamento; 75 kg de ureia ha⁻¹ no afilhamento + 75 kg de ureia ha⁻¹ no espigamento; e 150 de ureia ha⁻¹ no afilhamento + 50 kg de ureia ha⁻¹ no espigamento). Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2013.

rendimento de grãos (2.294 kg ha⁻¹). Já, na maior dose de N, os rendimentos de grãos mais elevados foram bastante próximos a 3.864 kg ha⁻¹ e 3.878 kg ha⁻¹ sendo obtidos nas densidades de 500 e 400 sementes aptas m⁻², respectivamente. Na terceira posição ficou a densidade de 300 sementes aptas m⁻² (3.638 kg ha⁻¹) e na última, a densidade de 200 sementes aptas m⁻² (3.193 kg ha⁻¹).

A Figura 6 mostra o perfil de NDVI com diferentes estratégias de aplicação de redutor em diferentes doses de N. Nas duas doses de N foi possível verificar perfil bastante semelhante de NDVI dos tratamentos “sem redutor” e “redutor no 1º nó”. Já com a aplicação no afilhamento,

os valores de NDVI decresceram num período entre a quinta folha e o espigamento. Tal resposta pode estar relacionada com a mudança no padrão foliar (folhas mais eretas que o normal). Nesse sentido, a angulação foliar associada à coloração mais intensa, não geraram efeitos positivos no NDVI, pelo contrário, reduziram os valores no período considerado. Os resultados obtidos para rendimento de grãos mostraram que a não aplicação de redutor foi bastante semelhante à aplicação no afilhamento tanto na dose de 60 kg de N ha⁻¹ quanto na dose de 120 kg de N ha⁻¹ (4.323 kg ha⁻¹ contra 4.447 kg ha⁻¹ respectivamente com 60 kg de N ha⁻¹ e 5.064 kg ha⁻¹ contra

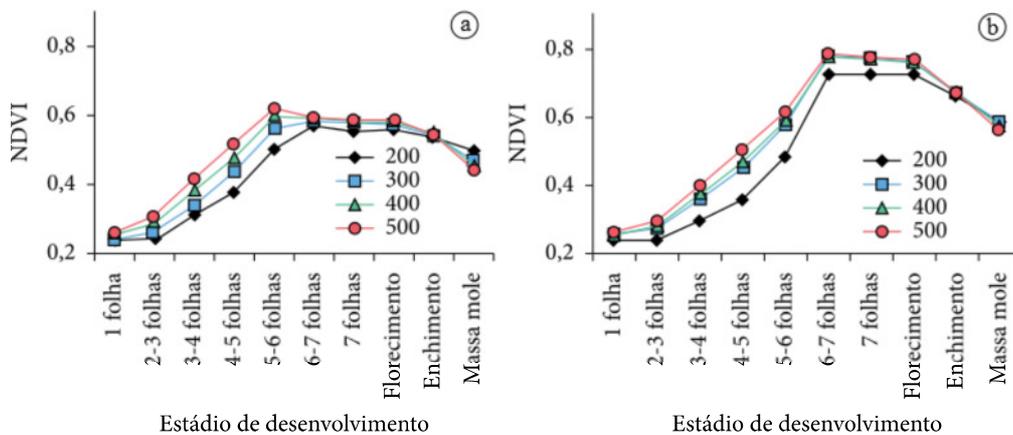


Figura 6. Perfil de NDVI do genótipo de trigo PF 080310 em diferentes densidades de semeadura com 0 kg de N ha⁻¹ (a) e 80 kg de N ha⁻¹ em cobertura (b). Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2013.

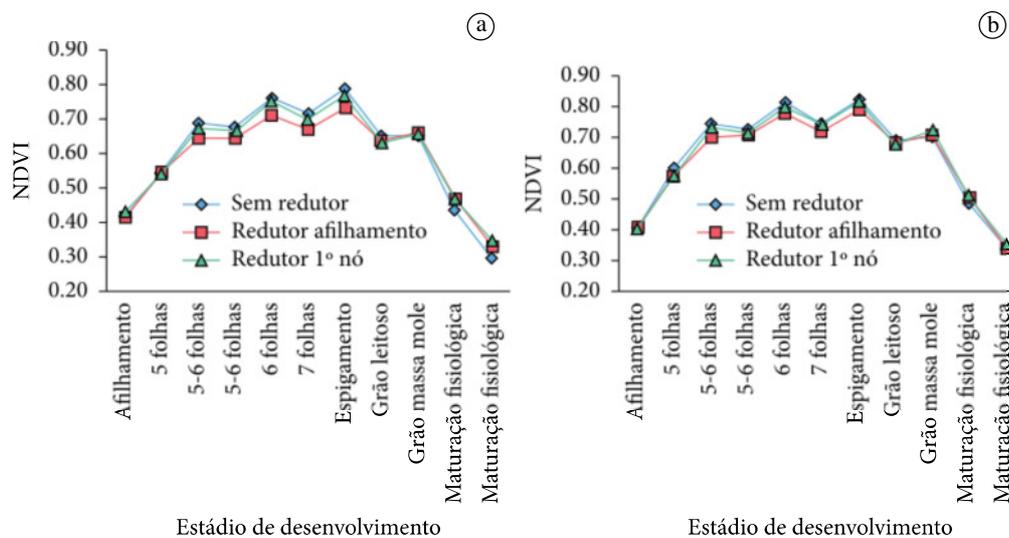


Figura 7. Perfil de NDVI da cultivar de trigo BRS327 com diferentes tratamentos de aplicação de redutor de crescimento e doses de nitrogênio em cobertura de 60 kg de N/ha (a) e 120 kg de N/ha (b). Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2013.

4.929 kg ha⁻¹ respectivamente com 120 kg de N ha⁻¹). Quando se aplicou redutor no 1º nó, os valores foram inferiores nas duas situações (3.963 kg ha⁻¹ e 4.636 kg ha⁻¹ com 60 e 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente). Tal fato, apesar de não ser explicado diretamente pelos perfis de NDVI obtidos, pode estar relacionado ao período de deficiência hídrica observado durante a safra 2012 nas condições onde o ensaio foi conduzido. Esta deficiência, por si só, já promove redução na estatura das plantas e a associação com a aplicação de redutor pode ter reduzido ainda mais a estatura com mudanças na estrutura da planta e, portanto, com reflexos negativos no potencial produtivo.

4. Conclusões

O sensor óptico ativo GreenSeeker® é uma ferramenta capaz de identificar padrões de NDVI associados à genótipos e práticas culturais.

Tanto na comparação de genótipos quanto de práticas de manejo empregadas na cultura do trigo, o sensor óptico ativo permite identificar diferenças precocemente.

Dependendo do foco de aplicação, o uso do sensor óptico ativo tem o diferencial de ser uma avaliação não destrutiva de fácil execução prática.

Agradecimentos

Agradece-se aos empregados da Embrapa Trigo Cedenir Medeiros Scheer, Evandro Lampert, Itamar Amarante, Luís Katzwinkel, Luiz de Oliveira e ao estagiário Elizandro Fochesatto pelo auxílio na condução dos ensaios.

Referências

- PIETRAGALLA, J.; VEJA, A. M. Normalized difference vegetation index. In: PASK, A.; PIETRAGALLA, J.; MULLAN, D.; REYNOLDS, M. H. (Eds.) *Physiological Breeding II: a field guide to wheat phenotyping*. Mexico: CIMMYT, 2012. p. 37- 40.
- RISSINI, A. L. L. NDVI, crescimento e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. 2011. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.
- NTECH INDUSTRIES. *Greenseeker Manuals*. 2010. Disponível em: <<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-493091/>>. Acesso em: 10 out. 2012.
- ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings...* Washington: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.